



PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Título:

Calidad de la energía del suministro eléctrico del transformador tipo aceite de 500 kVA en una industria alimenticia y de aseo.

Autores:

Andrés Alberto Carvajal Ortega
Ana María Castro Sandoval
German Alberto Manduca Saballeth

Asignatura:

Análisis de calidad de la energía

UNIVERSIDAD DE LA COSTA - 2021



Programa de Ingeniería Eléctrica
Asignatura: Análisis de calidad de la energía

Autores:

Andres Alberto Carvajal Ortega, Ana María Castro Sandoval, German Alberto Manduca Saballeth

Título: Calidad de la energía del suministro eléctrico del transformador tipo aceite de 500 kVA en una industria alimenticia y de aseo.

PREGUNTA RETO: *¿Cuáles son las condiciones de la calidad de la energía del suministro eléctrico industrial de una empresa alimenticia y de aseo después de la instalación de nuevos equipos?*

I. INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico de potencia está expuesto a cambios similares a los de la sociedad. Algunos de los cambios más importantes en los últimos tiempos que tienen un impacto significativo son:

Cambios en la generación

- Cambio desde grandes unidades de generación bajo el control de un operador de red a unidades pequeñas conectadas a la red de distribución y/o a fuentes renovables cuya disponibilidad y producción está controlado por el clima.

Cambios en el consumo

- Nuevos tipos de consumo con autos eléctricos.
- La transición del calentamiento de gas a la calefacción eléctrica (lo más probable en forma de bombas de calor).
- Muchos motores alimentados directamente son reemplazados por variadores de velocidad.
- El reemplazo de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas y LED.
- Un gran número de dispositivos pequeños, con dispositivos cargadores.

Cambios en la red

- El reemplazo de líneas aéreas por cables soterrados.
- A niveles de baja y media tensión, ya muchos países están cerca de 100% con la red subterránea. Los ejemplos son Alemania y Países Bajos, con un 75% y un 90% de redes de media tensión bajo tierra, respectivamente. Otros países, como Suecia, están soterrando rápidamente incluso en sus redes rurales más remotas.
- A niveles de tensión más alto, incluido en transmisión, hay una clara tendencia hacia el uso de cables subterráneos.

- El número de enlaces HVDC que se conectan al sistema de transmisión está aumentando, con algunos países o áreas que tienen muchos de esos enlaces dentro de una distancia relativamente corta.
- Otros equipos de electrónica de potencia en la red también están mostrando un aumento en su presencia. Por ejemplo, la red escandinava está conectada a la red de Europa continental mediante 10 enlaces HVDC.
- La comunicación con los medidores de energía se usa cada vez más por líneas de alimentación.
- Finalmente, hay todo un espectro de desarrollos bajo el nombre de "redes inteligentes".

II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Definición de calidad de la energía y problemas de calidad de la energía.

Calidad de la energía

- Amplia variedad de fenómenos electromagnéticos, que caracterizan la *tensión* y la *corriente* durante un *determinado tiempo*, en un *lugar específico* del sistema de potencia.

Problema de calidad de la energía

- Cualquier *problema de potencia* manifestado en *desviaciones* de la *tensión*, *corriente*, o *frecuencia*, que produce la *falla o mala operación* de los equipos de los consumidores.

2.2. Características de las cargas no lineales y su impacto en la calidad de la energía.

Cargas no lineales.

Carga eléctrica que describe una discontinuidad en la corriente o cuya impedancia varía a lo largo del ciclo de la forma de onda de tensión ac de entrada.

2.3. Características de eventos en estado estacionario y transitorio.

Eventos en estado estacionario	Eventos en estado transitorio
➤ Eventos que ocurren a niveles de tensión sostenidos sin cambios momentáneos de tensión.	➤ Eventos indeseables y momentáneos en los sistemas de potencia. ➤ Es aquella parte del cambio en una variable que desaparece durante la transición de una condición de operación de estado estable a otra.

2.4. Variaciones de tensión de corta duración

- Causadas por condiciones de fallas, energización de grandes cargas que demandan una elevada corriente de arranque, conexiones intermitentes en los conductores y el cableado, etc.
- Dependiendo de la localización y de las condiciones en el sistema, estas fallas pueden causar caídas de tensión temporales (valles), elevaciones de tensión (crestas), o pérdidas totales de tensión (interrupciones).
- Su duración es inferior a un minuto.

Valles (sag o dip)

- Reducción del valor r.m.s. de la tensión o la corriente del sistema entre 0.1 y 0.9 p.u. por una duración de 0.5 ciclo a un minuto.
- Su descripción se realiza en términos de la profundidad o magnitud y su duración.
- En los sistemas industriales son normalmente asociados a la conexión de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y la desconexión de banco de capacitores.
- La duración de los valles se subdivide en tres categorías; *Instantáneo, Momentáneo y Temporal*.

Cresta (swell)

- Se define como un incremento del valor r.m.s. de tensión o la corriente de un sistema entre 1.1 p.u. y 1.8 p.u. con una duración desde 0.5 ciclo a un minuto.
- Una forma típica de cresta es la elevación temporal de tensión en las fases no falladas durante una falla de línea a tierra.
- También pueden ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores.

Interrupción

- Ocurre cuando la fuente de tensión o la corriente de la carga disminuye a menos de 0.1 p.u. por un periodo de tiempo que no excede un minuto.
- Pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados y mal funcionamiento de los sistemas de control.
- Son medidas por su duración ya que la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10% de la tensión nominal.
- Algunas interrupciones son precedidas por un valle de tensión cuando son debidas a causas en el sistema. Este valle ocurre durante el tiempo en que se inicia la falla y la operación del dispositivo de protección.

2.5. Variaciones de tensión de larga duración

Las variaciones de larga duración se clasifican en sobre tensión, baja tensión, e interrupciones sostenidas.

La sobre tensión y la baja tensión generalmente no son el resultado de fallas en el sistema.

Estos pueden ser causados por variaciones de la carga u operaciones de conexión y desconexión. Son típicamente registradas cuando se monitorea el valor r.m.s. de la tensión contra el tiempo.

Sobretensión

- Incremento en el valor r.m.s. de la tensión superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.
- Usualmente es el resultado de desconexiones de grandes cargas o debido a conexiones de bancos de capacitores.
- Ocurre cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.
- La incorrecta selección de los taps en los transformadores puede ocasionar sobretensión en el sistema.

Baja tensión.

- Reducción en el valor r.m.s. de tensión a menos del 90% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.
- La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores puede causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo.
- Los circuitos sobrecargados pueden producir baja tensión en los terminales de la carga.
- Taps de los transformadores incorrectos.

Sobre carga de corriente

Corriente excesiva en relación con la corriente nominal de operación.

Se presenta en los conductores y en otros componentes de un sistema de distribución.

En la mayoría de las veces, son más frecuentes entre un rango de una a seis veces el nivel de corriente nominal.

Son causadas por aumentos temporales de corriente y ocurren cuando los motores arrancan o cuando se energizan los transformadores.

Las corrientes de sobrecarga (o transitorias) son de ocurrencia normal. Debido a su corta duración cualquier aumento de temperatura es trivial y no tiene efecto dañino sobre los componentes del circuito.

Es importante que los dispositivos de protección no reaccionen a este tipo de corrientes.

Las sobrecargas continuas pueden ser causadas por motores defectuosos (tales como rodamientos del motor desgastados), equipos sobrecargados o demasiadas cargas a un solo circuito.

Estas sobrecargas son destructivas y deben ser cortadas por los dispositivos de protección antes que dañen el sistema de distribución o afecten el sistema de cargas.

Son de magnitud relativamente bajas comparadas con las corrientes de cortocircuito, las cuales, deben cortarse en milisegundos para prevenir daños al equipo.

2.6. Desequilibrio de tensión

Este fenómeno se pone de manifiesto cuando las tensiones o corrientes de línea difieren en magnitud, o no estén desfasadas 120 grados eléctricos entre sí.

El desequilibrio en un sistema trifásico se define como la relación entre la magnitud de la componente de secuencia negativa y la magnitud del componente de secuencia positiva, expresada como un porcentaje.

Esta definición puede ser aplicada para tensión o corriente.

Típicamente, el desequilibrio de tensión de un servicio trifásico es menor que 2%.

El desequilibrio de corriente puede ser considerablemente mayor, especialmente cuando hay cargas monofásicas presentes. Matemáticamente, el desequilibrio de tensión está representado por la ecuación siguiente:

La NEMA MG1 establece el funcionamiento normal del motor para un $PVU \leq 1\%$.

Si $1\% \leq PVU \leq 5\%$ sugiere que se desclasifique la potencia nominal de motor según la figura:

Causas del desequilibrio de tensión

- Fuente de suministro inestable o desequilibrada.
- Desigual distribución de las cargas, predominando las cargas monofásicas.
- Transposición incompleta de las líneas.
- Ruptura de un fusible en un banco de capacitor trifásico.
- Transformadores conectados en bancos asimétricos, en especial en delta abierta.
- Fallas monofásicas a tierra no identificadas.
- Desperfectos en los empalmes, uniones o contactos.

Efectos del desequilibrio

- Aumentan las pérdidas de energía y el costo para suministrar un kWh.
- Aumento de la demanda.

- Distorsión del factor de potencia real.
- El desequilibrio de las corrientes es superior al desequilibrio de tensión.
- Dificultades en el ajuste de las protecciones.
- Reducción de la capacidad efectiva instalada.
- Depreciación de la potencia que puede desarrollar o pérdida de vida útil.
- Aumenta el calentamiento y se reduce la eficiencia.
- Reducción del momento de arranque y el momento máximo.
- Aumenta el deslizamiento.
- Asimetría en las corrientes y aumento de los kVA necesarios para el arranque.
- Aumento del ruido y las vibraciones principalmente con 120 Hz de frecuencia.

Métodos para el cálculo de variaciones de tensión

$$\text{Variación de tensión (p. u)} = \frac{\text{Tensión medida (V)}}{\text{Tensión nominal (V)}} \quad (1)$$

Métodos para el cálculo de desequilibrio de tensión

$$PVU = \frac{\max[|V_{ab} - V_{proml}|; |V_{bc} - V_{proml}|; |V_{ca} - V_{proml}|]}{V_{proml}} \cdot 100 \quad (2)$$

Armónicos

Definición de armónicos: Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del sistema.

Definición de sub-armónicos: Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del sistema.

Características de los armónicos y sub-armónicos

Las fuentes comunes de corrientes armónicas en los sistemas de potencia incluyen:

- Convertidores electrónicos de potencia.
- Hornos de arco.
- Sistemas VAR estáticos.
- Inversores para generación distribuida.
- Controladores de fase ac.
- Conversores de corriente alterna.
- Convertidores de corriente alterna (rectificadores) (PWM).

Cada uno de estos dispositivos productores de armónicos puede tener características de emisión de corriente armónicas bastante *consistentes* a lo largo del tiempo o cada uno puede presentar una *característica variable* dependiendo del control del dispositivo, las características del sistema y otras variables.

Los convertidores estáticos de energía eléctrica son las mayores cargas no lineales y se utilizan en la industria para una variedad de propósitos, tales como, fuentes de alimentación electroquímicas, accionamientos de velocidad ajustable y fuentes de alimentación ininterrumpidas.

Estos dispositivos son útiles porque pueden convertir: ac a dc, dc a dc, dc a ac, y ac a ac.

Las cargas no lineales cambian la naturaleza sinusoidal de la corriente alterna, dando como resultado el flujo de corrientes armónicas en el sistema de potencia (ac) que puede causar interferencia con circuitos de comunicación y otros tipos de equipo.

Estas corrientes armónicas también conducen a mayores pérdidas y calentamiento en numerosos dispositivos electromagnéticos motores, transformadores, etc.

Cuando se utiliza la compensación de potencia reactiva con condensadores para la mejora del factor de potencia, pueden producirse condiciones resonantes que pueden dar lugar a altos niveles de tensión armónica y distorsión de corriente cuando la condición resonante se produce en un armónico asociado con cargas no lineales.

Efecto de los armónicos

Transformadores: Los armónicos de corriente provocan un incremento en las pérdidas de cobre y en las pérdidas por flujo de dispersión, mientras que los armónicos de tensión producen un incremento en las pérdidas de núcleo. El resultado de estos efectos es un aumento en el calentamiento del transformador.

Cables del sistema de potencia: El flujo de corrientes no sinusoidales, puede provocar un calentamiento adicional, debido al efecto pelicular, el cual es función de la frecuencia

Capacitores: La mayor preocupación ante la presencia de armónicos, radica en la posibilidad del surgimiento de resonancia en el sistema.

Este efecto produce un aumento considerable en los valores de tensión y corriente. La reactancia de un banco de capacitores decrece con la frecuencia, por lo tanto, el banco actúa como un sumidero ante las corrientes de armónicos de orden superior.

Este comportamiento produce sobrecalentamiento y estrés en el dieléctrico, reduciéndose la vida útil del capacitor.

Equipos electrónicos: Son susceptibles a la mala operación causada por la distorsión armónica.

Estos equipos frecuentemente son dependientes de la exactitud en el cruce por cero de la tensión u otros aspectos de la forma de onda de tensión.

La distorsión armónica produce el corrimiento del cruce por cero de la tensión o del punto en que una fase de la tensión comienza a ser mayor que otra fase.

Estos dos puntos son críticos para muchos tipos de circuitos electrónicos de control y su desplazamiento produce una mala operación.

Metrocontadores y otros instrumentos de medición: Son afectados por componentes armónicos, particularmente si existen condiciones de resonancia, que producen altos niveles de tensiones y corrientes armónicas en el circuito.

Desconectivos y relevadores: Se ven afectados por el incremento del calor y las pérdidas provocados por las corrientes armónicas, reduciendo la capacidad de conducir corriente en estado estacionario y acortando la vida útil de algunos componentes de aislamiento.

Motores: Los principales efectos de las corrientes y tensiones armónicas, están en el aumento del calentamiento y de las pérdidas, así como el incremento del ruido y las vibraciones.

Esto trae consigo la disminución de la eficiencia de la máquina, reducción del momento desarrollado, y otros efectos negativos.

- Los interarmónicos y los subarmónicos (caso particular de interarmónicos, con frecuencias menores a 60 Hz) pueden ser generados a cualquier nivel de tensión y son transferidos entre niveles, es decir, los interarmónicos generados en alta y media tensión se inyectan en baja tensión y viceversa.
- Su magnitud pocas veces excede el 0,5 del fundamental, pero pueden ocurrir niveles superiores en condiciones de resonancia.
- Sus fuentes básicas son: Dispositivos de arco, accionamientos de velocidad variable, convertidores estáticos (particularmente los de frecuencia directos e indirectos), controles de rizado, motores asincrónicos, señales portadoras (carrier).
- Los interarmónicos pueden también ser causados por oscilaciones que ocurren, por ejemplo, en sistemas con capacitores en serie o en paralelo o donde los transformadores están sujetos a saturación, así como durante los procesos de conmutación.

Métodos para el cálculo de armónicos

$$THDV = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}{V_1^2}} \cdot 100 \quad (3)$$

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{50} I_k^2}}{I_{m\acute{a}x}} \quad (4)$$

$$IVD = \frac{V_k}{V_1} \cdot 100 \quad (5)$$

$$ICD = \frac{I_k}{I_1} \cdot 100 \quad (6)$$

$$HVF = \sqrt{\sum_{k=5}^{\infty} \frac{IVD_{pu}^2}{k}} \quad (7)$$

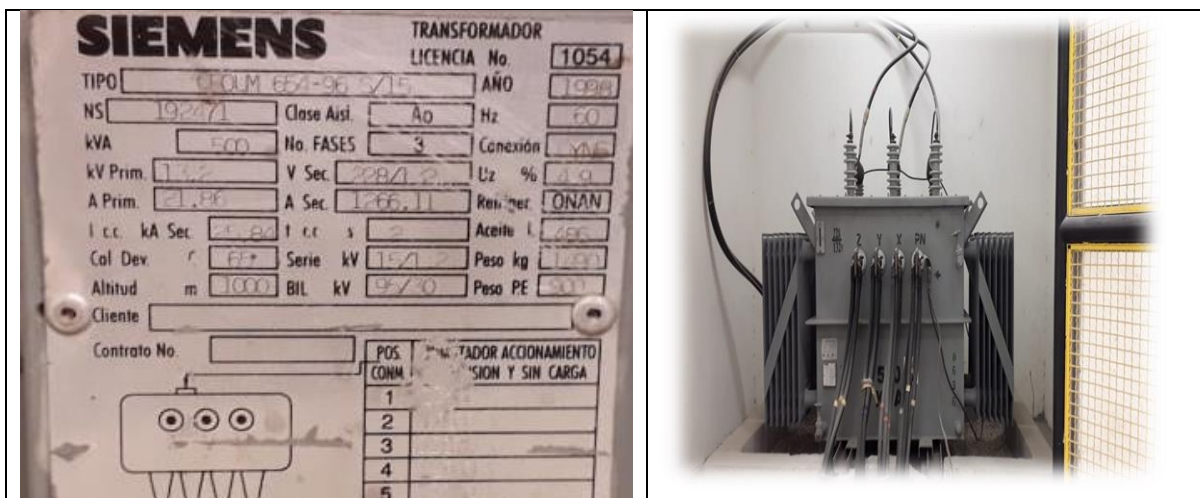
$$K\text{-Factor} = \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{I_k}{I_{rms}} \right)^2 \cdot k^2 \quad (8)$$

2.7. Procesamiento de datos.

1. Obtención de los gráficos del comportamiento de los parámetros siguientes con los límites establecidos por las normas y la capacidad del transformador:
 - Tensiones de línea.
 - Variación de tensión
 - Desequilibrio de tensión
 - Corriente de línea
 - Desequilibrio de corriente
 - Potencia
 - Factor de potencia
 - Armónicos de tensión y corriente.
2. Interpretación de los resultados.
3. Identificación de problemas.
4. Propuestas de soluciones.

III. RESULTADOS.

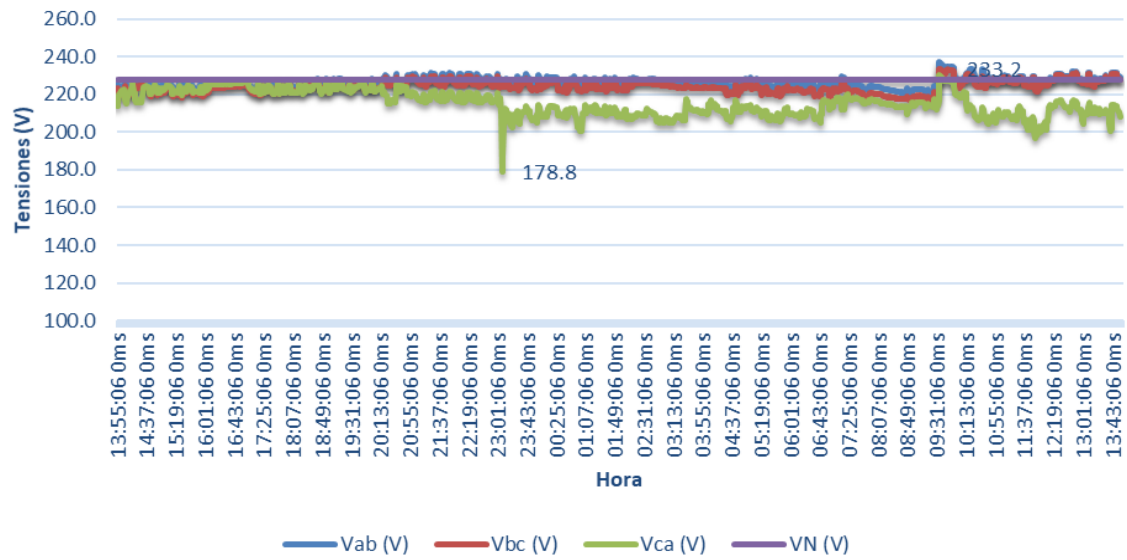
3.1. Datos del transformador:



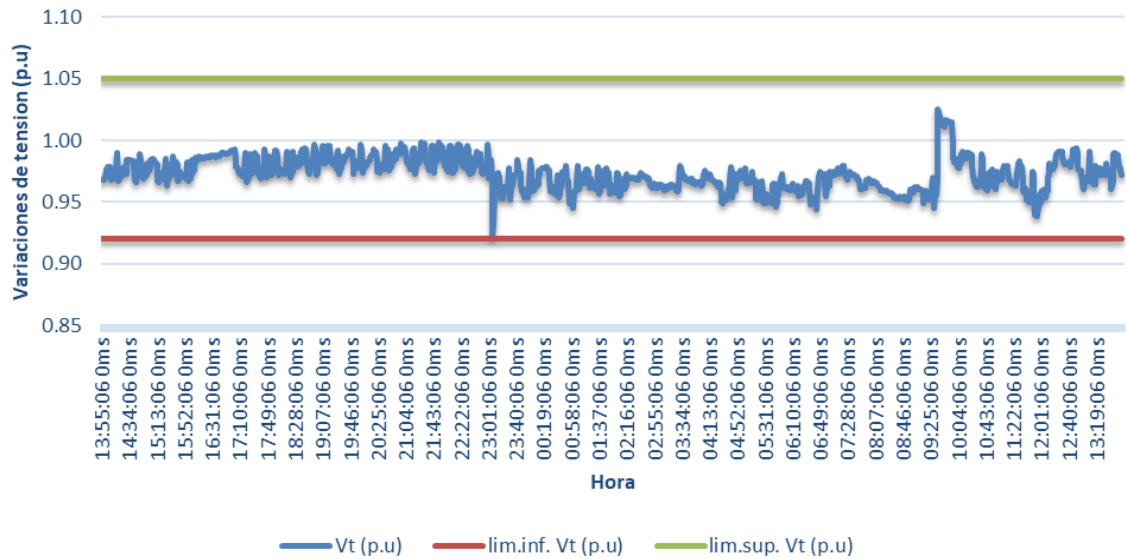
Función	Aceites
Marca	SIEMENS
Potencia (kVA)	500
Frecuencia (Hz)	60
Tensión primaria (V)	13200
Corriente primaria (A)	21.8
Tensión secundaria (V)	228/110
Corriente secundaria (A)	1266.11
Conexión	Dyn5
ICC (kA)-SEC	25.8
Uz%	4.9

3.2. Gráficos de los parámetros analizados.

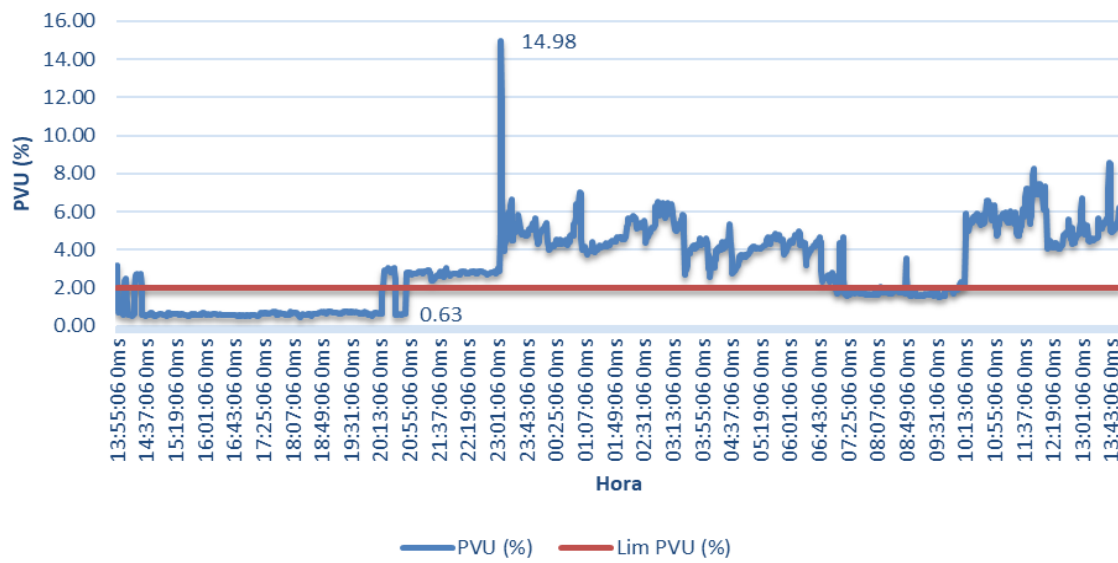
TENSIÓN DE LÍNEA



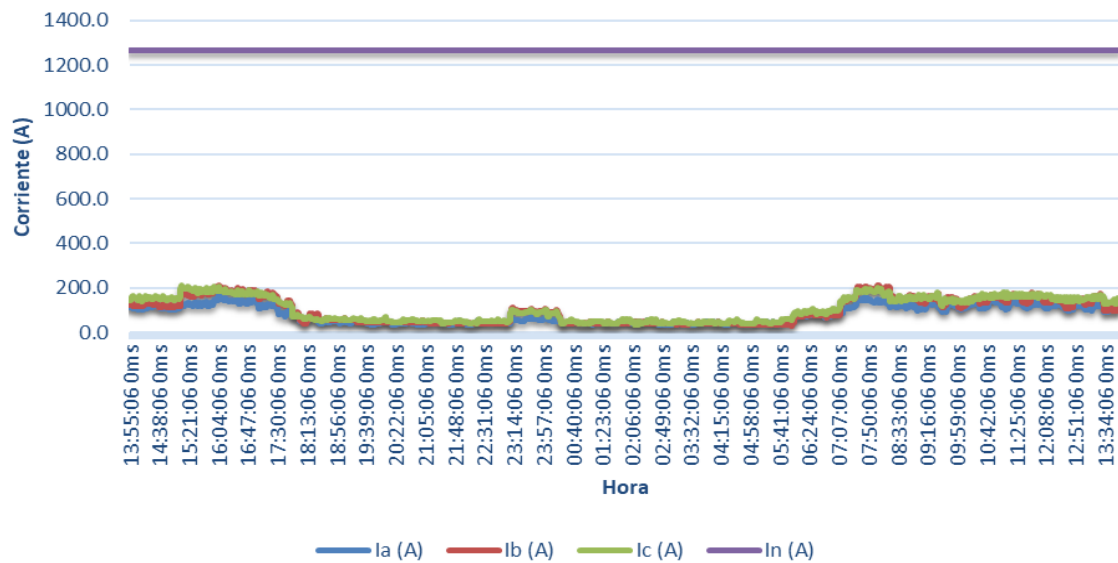
VARIACIONES DE Tensión



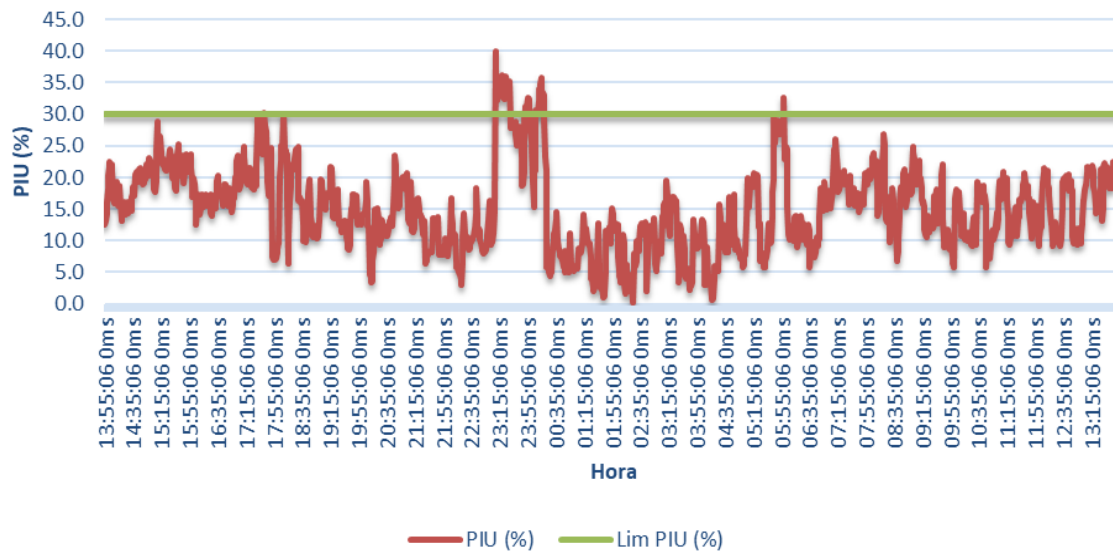
DESEQUILIBRIO DE Tensión



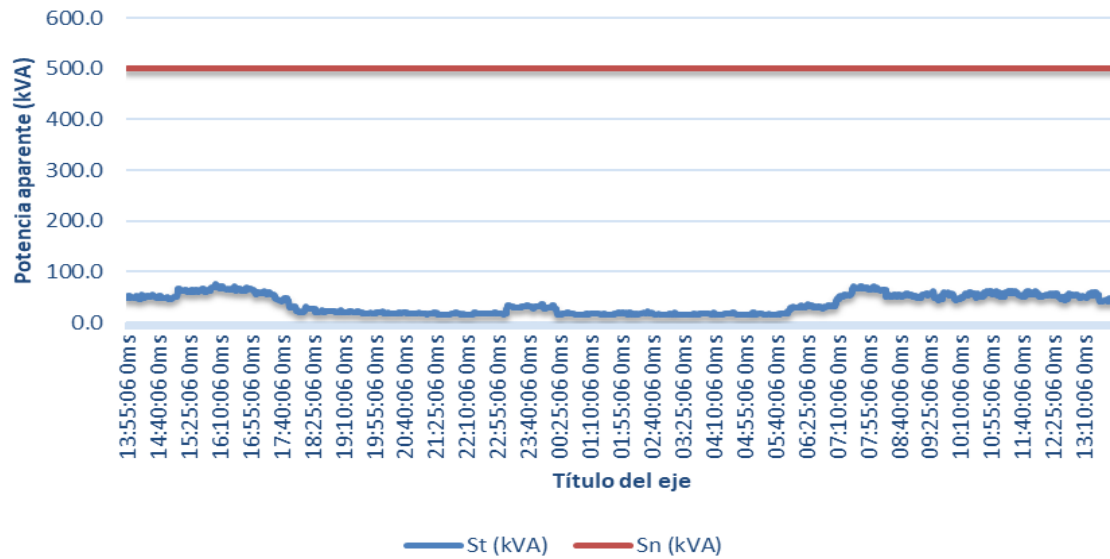
CORRIENTES DE LÍNEA



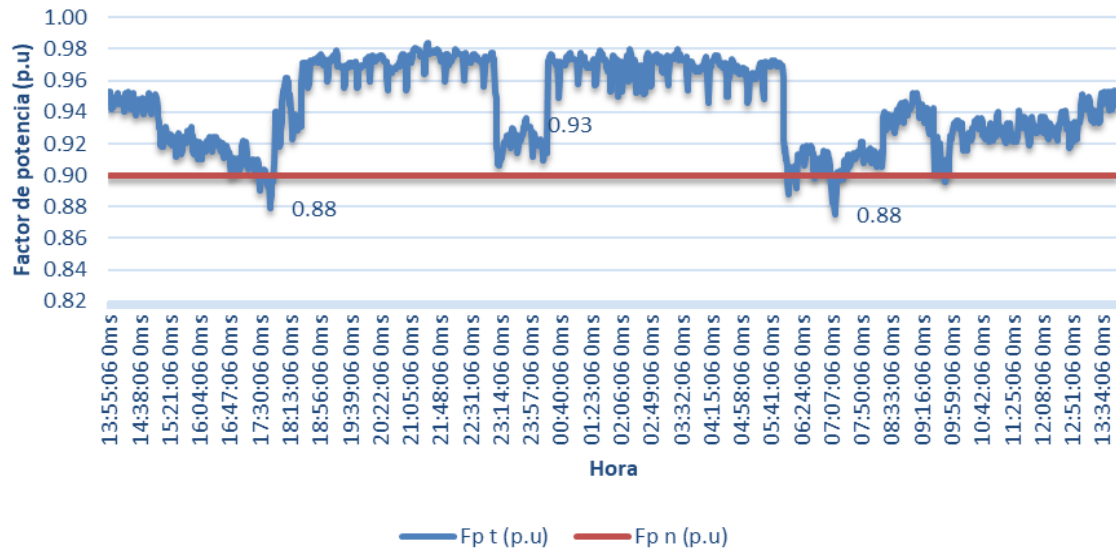
DESEQUILIBRIO DE CORRIENTE



POTENCIA APARENTE kVA

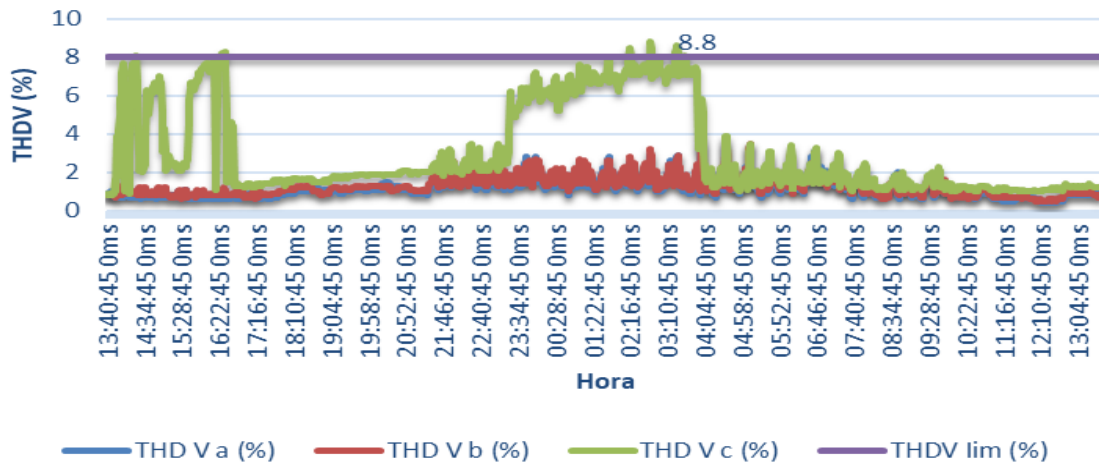


FACTOR DE POTENCIA

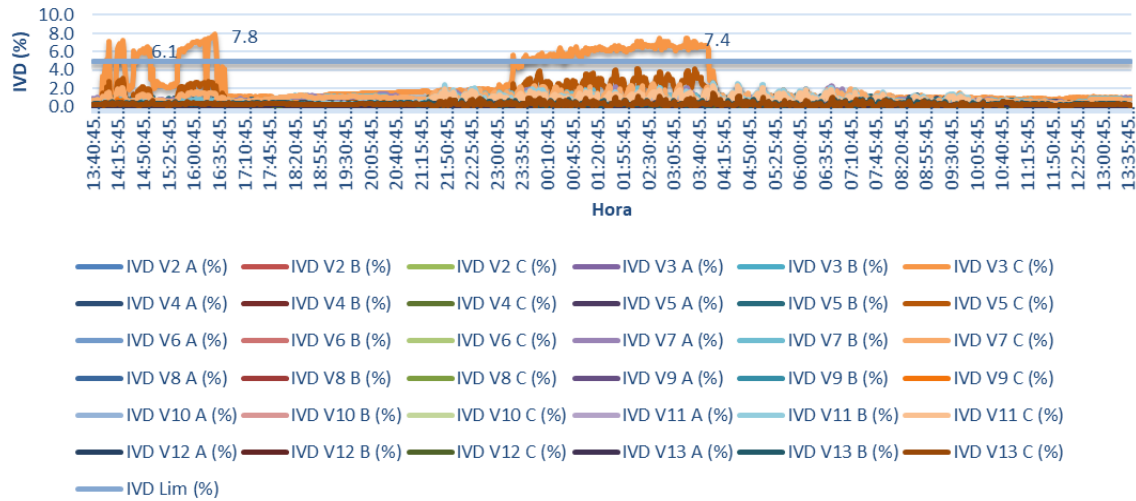


Parámetros	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación estándar
Variación de tensión (p.u)	1.03	0.92	0.97	0.05
Desequilibrio de tensión (%)	14.98	0.48	3.09	7.73
Desequilibrio de corriente (%)	39.91	0.32	15.16	20.00
Factor potencia total (p.u)	0.98	0.88	0.94	0.06
Potencia aparente total (kVA)	75.80	14.18	36.08	31.24
Potencia activa total (kVA)	69.90	13.76	33.74	28.45
Potencia reactiva total (kVAR)	28.45	2.04	11.54	13.38
Corriente A (A)	172.11	33.59	81.24	70.37
Corriente B (A)	212.46	29.92	96.98	92.33
Corriente C (A)	209.17	35.07	103.93	87.68
Factor de carga del transformador (%)	15.16	2.84	7.22	6.25

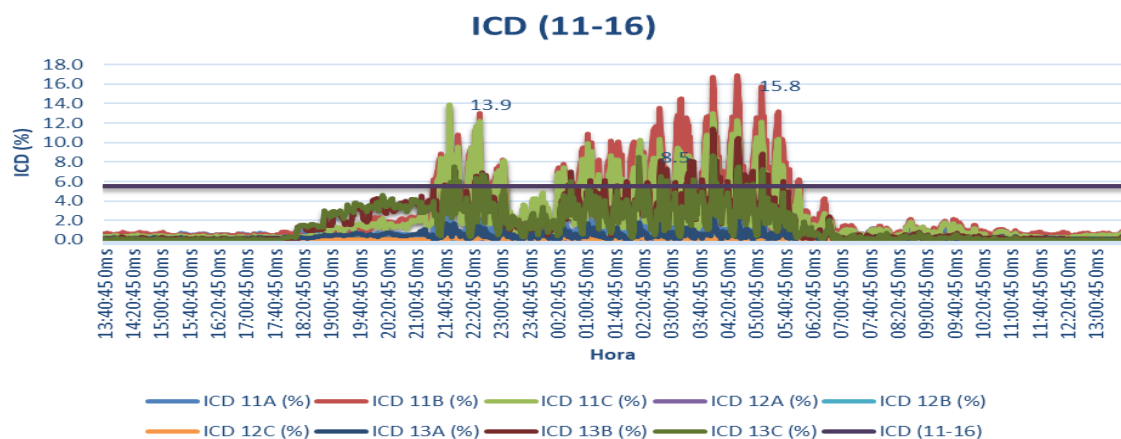
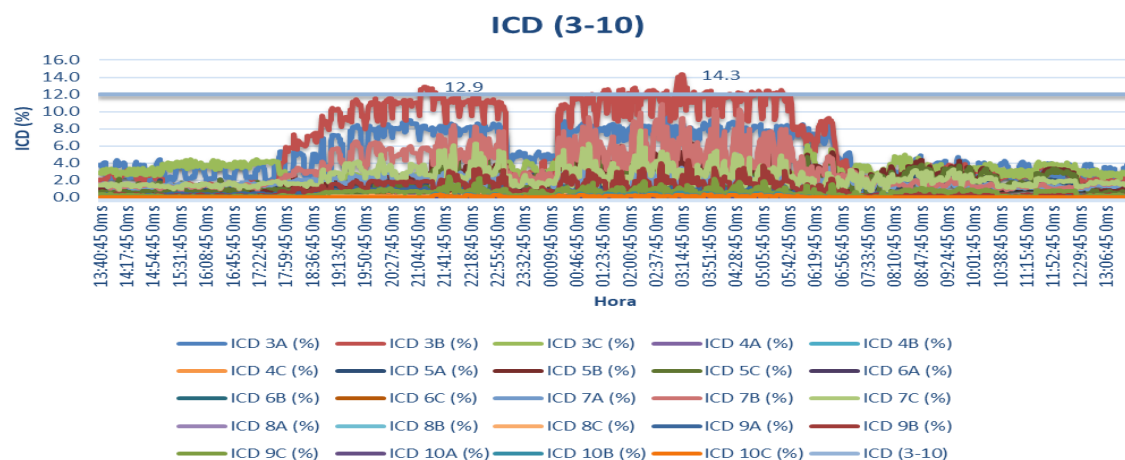
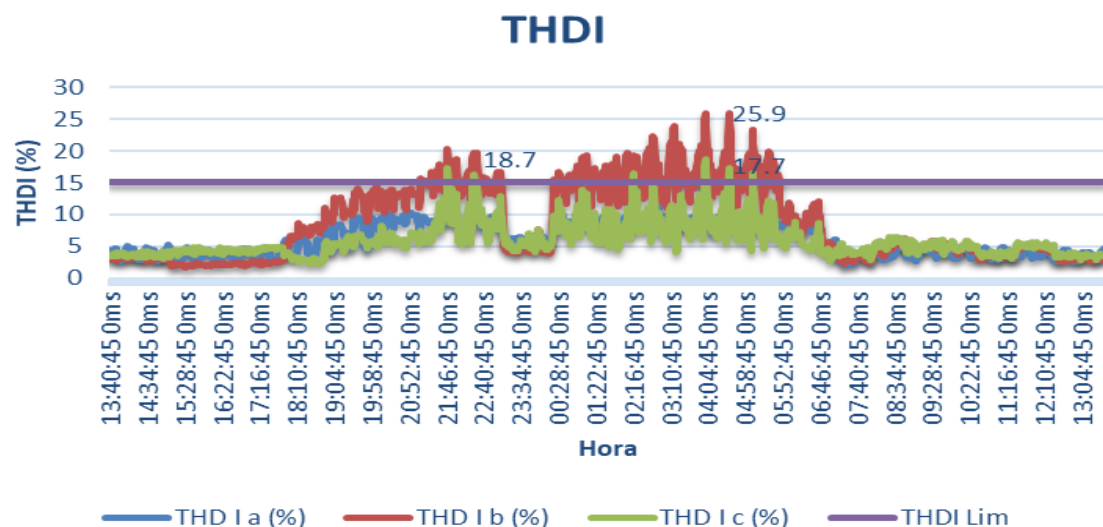
THDV

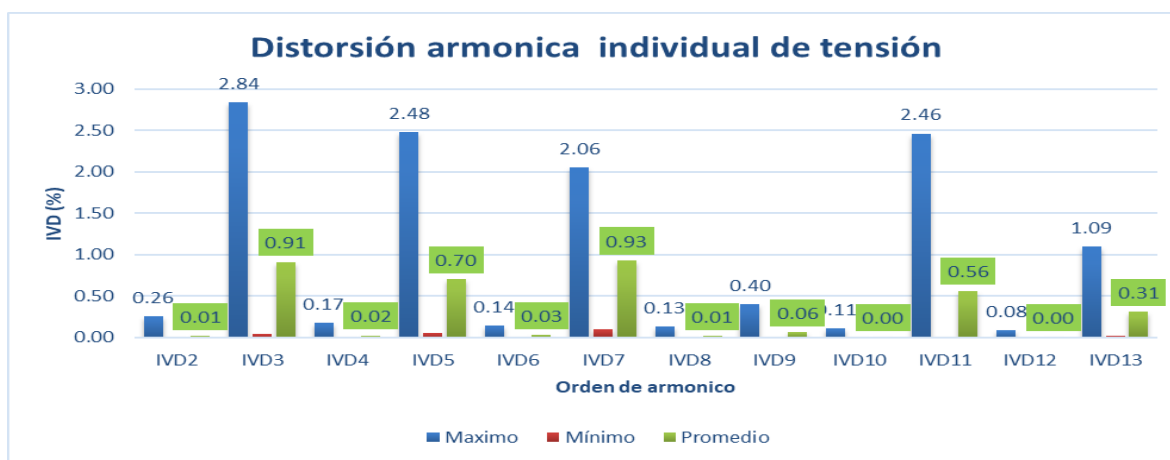
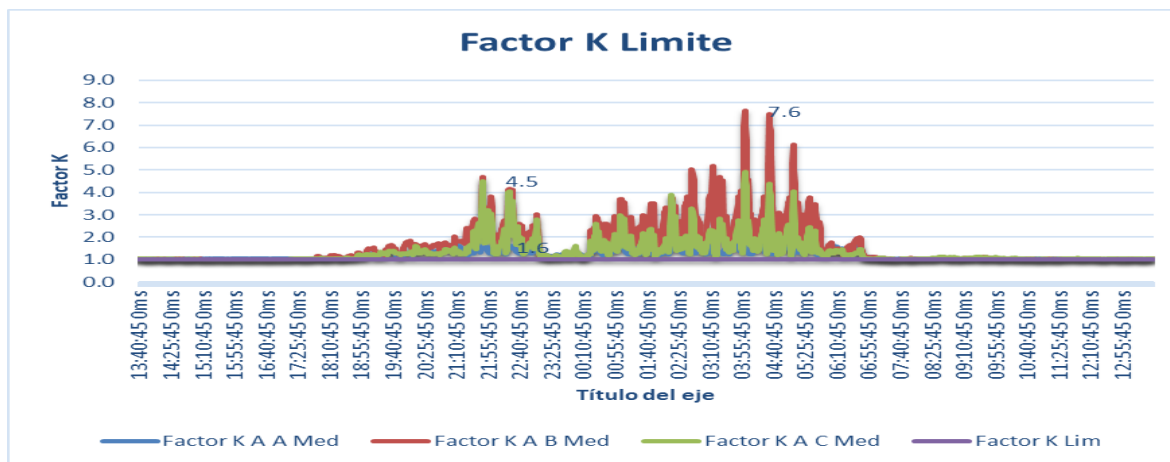


IVD

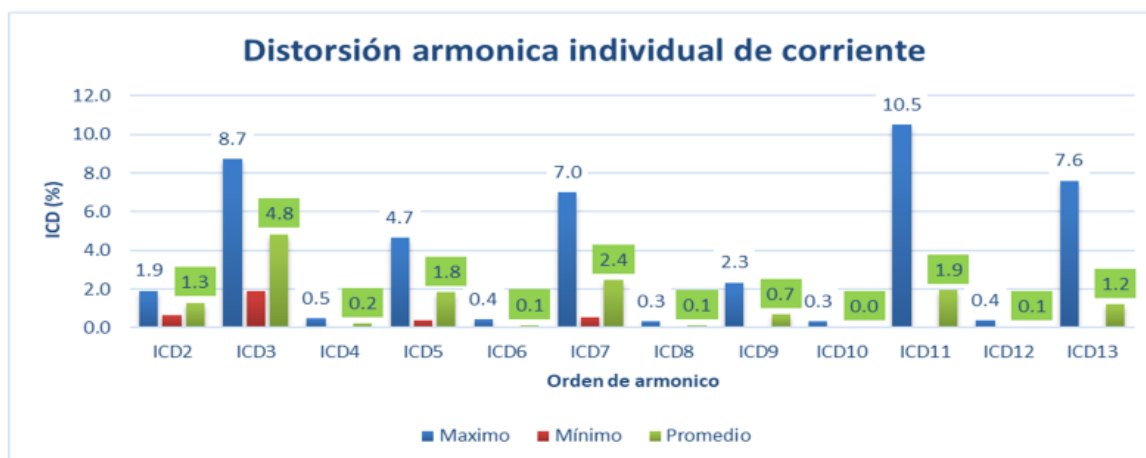


Isc (A)	IL-Max	Isc/IL
25800.0	240.5	107.3





Distorsión armónica individual de corriente



Parámetros	THDV (%)	THDI (%)	Factor K (%)	IVD2 (%)	IVD3 (%)	IVD4 (%)	IVD5 (%)	IVD6 (%)	IVD7 (%)	IVD8 (%)	IVD9 (%)	IVD10 (%)	IVD11 (%)	IVD12 (%)	IVD13 (%)
Máximo	4.93	18.07	4.70	0.26	2.84	0.17	2.48	0.14	2.06	0.13	0.40	0.11	2.46	0.08	1.09
Mínimo	0.67	2.67	1.01	0.00	0.04	0.00	0.05	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02
Promedio	1.86	6.96	1.38	0.01	0.91	0.02	0.70	0.03	0.93	0.01	0.06	0.00	0.56	0.00	0.31
Desviación estándar	2.20	7.95	2.04	0.15	1.43	0.09	1.26	0.07	0.98	0.07	0.22	0.06	1.29	0.05	0.56

Parámetros	THDV (%)	THDI (%)	Factor K (%)	ICD2 (%)	ICD3 (%)	ICD4 (%)	ICD5 (%)	ICD6 (%)	ICD7 (%)	ICD8 (%)	ICD9 (%)	ICD10 (%)	ICD11 (%)	ICD12 (%)	ICD13 (%)
Máximo	4.93	18.07	4.70	1.9	8.7	0.5	4.7	0.4	7.0	0.3	2.3	0.3	10.5	0.4	7.6
Mínimo	0.67	2.67	1.01	0.7	1.9	0.1	0.4	0.0	0.5	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
Promedio	1.86	6.96	1.38	1.3	4.8	0.2	1.8	0.1	2.4	0.1	0.7	0.0	1.9	0.1	1.2
Desviación estándar	2.20	7.95	2.04	0.63	3.41	0.22	2.18	0.22	3.31	0.17	1.17	0.169	5.5	0.2	4.1

Parámetros	Total de datos	Datos fuera del limite	Datos fuera del límite (%)
THDV C (%)	1440	18	1.25
IVD V3 C (%)	1440	340	23.61
THD I b (%)	1440	276	19.17
THD I c (%)	1440	13	0.90
ICD 3B (%)	1440	108	7.50
ICD 11B (%)	1440	268	18.61

ICD 11C (%)	1440	195	13.54
ICD 13B (%)	1440	63	4.38
ICD 13C (%)	1440	37	2.57
Factor K A A	1440	914	63.47
Factor K A B	1440	916	63.61
Factor K A C	1440	924	64.17

Parámetros	Total de datos	Datos fuera del límite	Datos fuera del límite (%)
PVU	1440	891	61.88
PIU	1440	42	2.92
Factor de potencia	1440	17	1.18

3.3. Aspectos positivos y problemas identificados

Ítem	Aspectos positivos
1	En la gráfica de potencia aparente kVA, se logra evidenciar que el transformado de 500 kVA tiene una carga promedio del 7.22 (%) de su capacidad nominal, permitiendo la conexión de futuras cargas en el transformador
2	El factor de potencia se encuentra dentro de los valores límites establecidos,

Ítem	Problemas identificados	Efectos negativos
1	Se presentan desequilibrios de tensión	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de la capacidad de carga de los motores eléctricos Reducción de vida útil del aislamiento en motores por sobrecalentamiento

2	Se presenta una total distorsión armónica de tensión (THDV C) en la fase c, superando los límites establecidos por la norma IEEE519-2014	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de las pérdidas del hierro en el transformador haciendo que se produzca un aumento en la temperatura del transformador
3	Se presenta una total distorsión armónica de corriente (THDI B y C) en la fase B y C, superando los límites establecidos por la norma IEEE519-2014	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento de conductores eléctricos por presencia de corriente armónicas • Banco de capacitores se ven afectado por el efecto de resonancia que sufren los capacitores en presencia de corrientes armónicas
4	Se presenta una distorsión armónica individual de orden 3 (IVD V3 C) en la fase c superando los límites establecidos por la norma IEEE519-2014	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del calentamiento, reducción del momento desarrollado del motor y otros efectos negativos
5	Se presentan distorsión armónica individual de corriente ICD de orden 11 en la fase B y C.	<ul style="list-style-type: none"> • Motores de inducción trifásico sufren reducción el par y eficiencia, debido a que se encuentran en presencia de un orden de armónico 11 que se encuentra clasificado como un armónico de secuencia negativa • Calentamiento de conductores eléctricos por presencia de corriente armónicas
6	Se presentan distorsión armónica individual de corriente ICD de orden 13 en la fase B y C.	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de las pérdidas del cobre en el transformador haciendo que se produzca un aumento en la temperatura del transformador • Calentamiento de motores eléctricos de inducción

3.4. Propuestas de soluciones

Equipo	Problemas identificados	Propuestas de soluciones	Ventajas	Desventajas
1	1. Desequilibrio de tensión y corriente	<ul style="list-style-type: none"> Equilibrar cargas monofásicas que se encuentran conectadas al sistema eléctrico del transformador. 	<ul style="list-style-type: none"> El correcto equilibrio de cargas monofásicas en circuitos trifásicos permite mantener el desequilibrio de tensión dentro de límites razonables, y mitigar posibles problemas en motores eléctricos de inducción trifásicos, calentamiento y sobre carga del conductor de una de las 3 líneas del sistema eléctrico, en este caso la línea C. 	<ul style="list-style-type: none"> Al momento de equilibrar las cargas en los tableros eléctricos de distribución, se tenga que hacer modificaciones considerables en cableado y barraje que generen costos adicionales para la compañía
	2. Distorsión armónica de corriente y tensión	<ul style="list-style-type: none"> Filtros activos 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de las corrientes armónicas hasta el orden 50 (2500 Hz) seleccionables para lograr una mayor eficacia del filtro. Compensación de potencia reactiva (inductiva/capacitiva) 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere una fuente de alimentación diferente, límites de frecuencia, no responde a altas frecuencias su frecuencia de corte puede ser demasiado pequeñas para una

				aplicación en particular
		<ul style="list-style-type: none"> Filtros pasivos. 	<ul style="list-style-type: none"> Económicos, permite el mejoramiento del factor de potencia, reduce la distorsión armónica del neutro, y mejora la regulación de tensión. Reduce el calentamiento en transformadores de distribución. Mínimos requerimientos de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> La respuesta a la frecuencia está limitada al valor de los componentes pasivos. La respuesta a la frecuencia puede tener variaciones importantes a la función ideal. Elementos como inductancias son difíciles de conseguir y su valor económico se incrementan en baja frecuencia.

IV. CONCLUSIONES

En base al análisis de las mediciones presentadas con anterioridad se lograron evidenciar problemas en el suministro eléctrico de la planta de calidad de la energía.

- Se presenta desequilibrio de tensión constantes y variables en el tiempo, con un pico porcentual de 14.98 % superando el límite de 2% establecido en la norma NTC5001

- Se presenta distorsión armónica total de tensión, con un pico porcentual de 8.8 % en la línea Vca, superando el límite de 8 % establecido por la norma IEEE-519-2014
- Se presenta distorsión armónica individual de tensión del tercer armónico, con un pico porcentual de 7.8 % en la línea Vca, superando el límite de 5 % establecido por la norma IEEE-519-2014
- Se presenta distorsión armónica total de corriente en THD I-B y THD I-C, con un pico porcentual de 25.9 % y 17.7 %, superando el límite de 15 % establecido por la norma IEEE-519-2014, acorde a los cálculos que establece la norma para la selección del valor porcentual límite, dependiendo del resultado de la división de corriente de cortocircuito entre la corriente máxima de línea
- Se presenta distorsión armónica individual de corriente ICD (3-10), con un porcentaje de 14.3 % en ICD 3B (%), superando el límite de 12 % establecido por la norma IEEE-519-2014, para los armónicos individuales de corriente de del tercero al décimo
- Los armónicos individuales de tensión de tercer orden en la línea C presenta un porcentaje de datos fuera del límite del 23.61%, sobre pasando los límites individuales de armónicos de tensión establecido en la tabla 1 de la norma IEEE-519-2014
- La distorsión armónica total de corriente en la línea B presenta un porcentaje de datos fuera del límite del 19.17%, sobre pasando los límites individuales de distorsión armónica total de tensión establecido en la tabla 2 de la norma IEEE-519-2014
- Los armónicos individuales de corriente de undécimo orden de la línea B presenta un porcentaje de datos fuera del límite del 18.61%, sobrepasando los límites individuales de armónicos de corriente establecido en la tabla 2 de la norma IEEE 519-2014
- Los armónicos individuales de corriente de undécimo orden de la línea C presenta un porcentaje de datos fuera del límite del 13.54%, sobrepasando los límites individuales de armónicos de corriente establecido en la tabla 2 de la norma IEEE 519-2014

V. **BIBLIOGRAFÍA:**

- Dugan, R. C. (2010). Electrical power systems quality. mcgraw-Hill..
- IEEE Standards Association. (2014). IEEE Std 519-2014. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE Power and Energy Society, 29.
- IEEE Standards Association. (2009). IEEE Std 1159-2009. Recommended practice for monitoring electric power quality. IEEE Power and Energy Society.
- Jaekel, B. W. (2008, August). Description and classification of electromagnetic environments- revision of IEC 61000-2-5. In 2008 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (pp. 1-4). IEEE.
- ICONTEC, N. (2004). 1340: Tensiones y frecuencia nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público.
- F. Hoyos, J. Candelo y J. Silva. "Performance evaluation of a DC-AC inverter controlled with ZAD-FPIC" INGE CUC, vol. 14, no. 1, pp. 9-18, 2017 DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.14.1.2018.01>

- COLOMBIANO, C. E. Norma NTC 2050. 2002, Bogotá.
- Colombiana, N. T. (2008). Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación de punto de conexión común, || NTC, 5001-2008.
- Santos, V. S., Eras, J. J. C., Gutierrez, A. S., & Ulloa, M. J. C. (2019). Assessment of the energy efficiency estimation methods on induction motors considering real-time monitoring. *Measurement*, 136, 237-247.
- Silva Ortega, J. I., Cardenas Escorcia, Y. D. C., & Valencia Ochoa, G. E. (2018). Monitoring electromagnetic fields and safe operation levels in electrical power transmission lines. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, VOL. 67, 2018
- Florez, B. H. M., Ortega, J. I. S., & Becerra, J. E. C. (2018). Fault Effect Analysis Based on Elements Loadability to Evaluate Reliability in Power Systems. *IEEE Latin America Transactions*, 16(10), 2649-2656.
- Sanchez, Z. G., Gonzalez Cueto Cruz, J. A., Sanchez, G. C., Herrera, H. H., & Silva Ortega, J. I. (2020). Voltage collapse point evaluation considering the load dependence in a power system stability problem. *International Journal of Electrical & Computer Engineering* (2088-8708), 10.
- Quispe, E. C., López, I. D., Ferreira, F. J., & Sousa Santos, V. (2018). Unbalanced voltages impact on the energy performance of induction motors. *International journal of electrical and computer engineering*, 8 (3) Junio 2018.
- Silva Ortega, J. I., Sousa Santos, V., Sarmiento Crespo, P. C., Gómez Sarduy, J. R., Felipe, V., Percy, R., & Quispe, E. C. (2019). Effects of power electronics devices on the energy quality of an administrative building. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 10 (4).
- Sousa Santos, Vladimir, Juan J. Cabello Eras, Alexis Sagastume Gutiérrez, and Mario J. Cabello Ulloa. 2020. "Data to Support the Assessment of the Energy Efficiency Estimation Methods on Induction Motors Considering Real-Time Monitoring." *Data in Brief* 30: 105512. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352340920304066>.
- Felipe, P. R. V., Sarduy, J. R. G., Santos, V. S., & Teyra, M. A. D. A. (2011). Análisis de los datos de medición de armónicos variables en el tiempo. *INGE CUC*, 7(1), 9-16.
- Sousa, V., Hernández, H., Quispe, E. C., Gómez, J. R., & Viego, P. R. (2017, May). Analysis of harmonic distortion generated by PWM motor drives. In *2017 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA)* (pp. 1-6). IEEE.
- García-Guarín, P., Cantor-López, J., Cortés-Guerrero, C., Guzmán-Pardo, M., & Rivera, S. (2019). Implementación del algoritmo VNS-DEEPSO para el despacho de energía en redes distribuidas inteligentes. *INGE CUC*, 15(1), 142-154. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.13>
- Sousa Santos, V., Hernandez Herrera, H., Quispe, E. C., Viego, P. R., & Gómez, J. R. (2017). Harmonic distortion evaluation generated by PWM motor drives in electrical industrial systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7 (6), pp. 3207-3216.
- Marriaga-Márquez, I. A., Gómez-Sandoval, K. Y., Grimaldo-Guerrero, J. W., & Nuñez-Álvarez, J. R. (2020, May). Identification of critical variables in conventional transformers in distribution networks. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 844, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.

- Patiño Builes, A. (2015). Tendencias tecnológicas que influyen en el aumento de la productividad empresarial. INGE CUC, 11(2), 84-96. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.11.2.2015.09>
- García Sanchez, Z., Gonzalez Cueto Cruz, J. A., Crespo Sanchez, G., Hernández Herrera, H., & Silva Ortega, J. I. (2020). Voltage collapse point evaluation considering the load dependence in a power system stability problem.
- Andrade Montoya, P., Morejón Bastidas, J., & Inga Ortega, E. (2016). Cobertura máxima de redes de sensores inalámbricos para un sistema de gestión de energía en hogares inteligentes. INGE CUC, 12(2), 68-78. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.07>
- Escudero Delgado, P., & Carrión Galarza, D. (2018). Expansión de un sistema de transmisión mediante LOPF-AC. INGE CUC, 14(2), 116-125. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.14.2.2018.11>
- Silva Ortega, J. I., Sousa Santos, V., Sarmiento Crespo, P. C., Gómez Sarduy, J. R., Viego Felipe, P. R., & Quispe, E. C. (2019). Effects of power electronics devices on the energy quality of an administrative building.
- Silva-Ortega, J., Zapata-Rivera, J., Candelo-Becerra, J., Rosales-Hernández, N., Umaña-Ibáñez, S., Mejia-Taboada, M., Palacio-Bonill, A., & Torregroza Rosas, M. (2016). Transformadores de distribución que operan con aceite de origen vegetal como dieléctrico y refrigerante. INGE CUC, 12(2), 79-85. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.08>
- Santos, V. S. (2014). *Procedimiento para determinar la eficiencia de motores asincrónicos en presencia de desbalance y armónicos en la tensión*. Editorial Universitaria.
- Sousa, V. (2006). *Determinación de la eficiencia de motores asincrónicos en condiciones de campo y en presencia de desbalance de tensión* (Tesis de Maestría, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba).
- di Mauro, G., Ferreyra, R., Suárez, J., & Jurado, A. (2015). Sobre tensiones por Ferresonancia en un Sistema de Distribución Eléctrica Rural: Reporte de Caso y Simulación. INGE CUC, 11(1), 34-47. Recuperado a partir de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/378>
- Silva-Ortega, J., Zapata-Rivera, J., Candelo-Becerra, J., Rosales-Hernández, N., Umaña-Ibáñez, S., Mejia-Taboada, M., Palacio-Bonill, A., & Torregroza Rosas, M. (2016). Transformadores de distribución que operan con aceite de origen vegetal como dieléctrico y refrigerante. INGE CUC, 12(2), 79-85. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.08>